

Wind tunnel, especially for aero-acoustic measurements, has openings at point pressure maximum, e.g. in wall of feedback tube upstream of outlet nozzle and diffuser

Patent number: DE10049533

Publication date: 2002-04-25

Inventor: KURZE ULRICH J (DE); HEESEN WILHELM VON (DE); STUEBER BURKHARD (DE)

Applicant: MUELLER BBM GMBH (DE)

Classification:

- **international:** G01M9/04; G01M19/00; G01H3/00

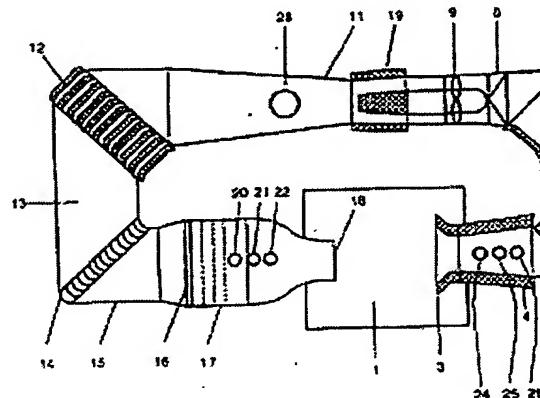
- **europen:** G01H1/00B; G01H3/04; G01M9/04

Application number: DE20001049533 20001006

Priority number(s): DE20001049533 20001006

Abstract of DE10049533

The device has a free-jet measurement section (1), a flow feedback tube, an outlet nozzle (18) before and a diffuser (4) after the free-jet section and a fan unit (9) in the feedback tube for producing an air flow. Openings (20-22; 24-26) at the point of a pressure maximum are formed e.g. in the wall of the feedback tube upstream of the outlet nozzle. The openings can be formed in the diffuser.





DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ ⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 100 49 533 A 1

⑯ Int. Cl. 7:
G 01 M 9/04
G 01 M 19/00
G 01 H 3/00

(3)

⑯ Aktenzeichen: 100 49 533.8
⑯ Anmeldetag: 6. 10. 2000
⑯ Offenlegungstag: 25. 4. 2002

⑦① Anmelder:
Müller - BBM GmbH, 82152 Planegg, DE

⑦④ Vertreter:
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner, 80801
München

⑦② Erfinder:
Stüber, Burkhard, 82418 Seehausen, DE; Heesen,
Wilhelm von, 44581 Castrop-Rauxel, DE; Kurze,
Ulrich J., 81377 München, DE

⑦⑤ Entgegenhaltungen:

DE 42 24 488 C2
DE 42 24 487 C2
DE 198 22 713 A1
DE 197 02 390 A1
US 54 95 754
US 39 03 740

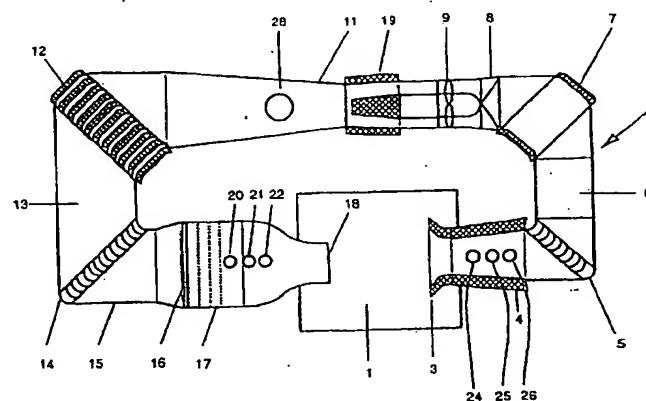
Kryo-Windkanal, Versuchsanlagen für Luftfahrt-
forschung und Luftfahrttechnologie, DFVLR, Köln,
1983, B 3.1-4;
Reflexionsarmer Raum, Versuchsanlagen für
Luftfahrtforschung und Luftfahrttechnologie,
DFVLR, Köln, 1981, B 3.4-2;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑦④ Windkanal

⑦⑤ Windkanal, insbesondere für aero-akustische Messungen, mit einer Freistahl-Meßstrecke und einer Strömungsrückführungsrohre, bei dem vor der Freistahl-Meßstrecke eine Ausblasdüse und hinter der Freistahl-Meßstrecke ein Diffusor vorgesehen ist, mit einer in der Strömungsrückführungsrohre angeordneten Ventilatoreinheit zur Erzeugung eines Luftstroms, dadurch gekennzeichnet, dass in der Wand der Strömungsrückführungsrohre Öffnungen ausgebildet sind.



DE 100 49 533 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft einen Windkanal, insbesondere für aeroakustische Messungen, entsprechend dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Bei Windkanälen der sogenannten Göttinger Bauart mit geschlossener Strömungsrückführung und Freistrahl-Meßstrecke bzw. offener Meßstrecke treten bei bestimmten Strömungsgeschwindigkeiten tieffrequente Pulsationen auf. Diese Pulsationen führen zu periodischen Fluktuationen der Strömungsgeschwindigkeit und des Drucks im Ringkanal und führen zur Verfälschung von Meßergebnissen, wie dies im einzelnen beschrieben ist in "Wind Tunnel Pulsations and their Active Suppression", SAE-Paper Nr. 2000-01-0869, 2000.

[0003] In "Model and Full Scale Investigations of the Low Frequency Vibration Phenomena of the DNW Open Jet", AGARD-CP-585, 1997, wird auf diese Pulsationen Bezug genommen und festgestellt, daß in Extremfällen die Pulsationen sogar das Windkanalgebäude zu Schwingungen anregen, welche die Stabilität des Bauwerks gefährden.

[0004] In den vorgenannten Schriften ist der Erzeugungsmechanismus der Pulsationen detailliert beschrieben. Die Pulsationen werden demzufolge durch Strömunginstabilitäten ausgelöst, die sich in Form von Ringwirbeln an der Ausblasdüse ablösen und mit der Strömung konvektiert werden. Die Wirbel haben ein breitbandiges Frequenzspektrum mit einem Maximum bei der Frequenz f_1 . Die bevorzugte Wirbelablösfrequenz f_1 ist proportional zur Strömungsgeschwindigkeit U und umgekehrt proportional zum hydraulischen Durchmesser D der Ausblasdüse.

[0005] Durch Rückkopplungsmechanismen, deren Eigenfrequenz in der Nähe der bevorzugten natürlichen Wirbelablösfrequenz f_1 liegt, wird die Wirbelablösung verstärkt und es treten die beschriebenen Pulsationen auf. Die Frequenz der Pulsation liegt bei typischen Pkw-Windkanälen bei 2-10 Hertz.

[0006] Wie in den vorgenannten Schriften erläutert, treten bei Windkanälen Göttinger Bauart verschiedene Rückkopplungsmechanismen auf:

a) Kopplung zwischen Ausblasdüse und Kollektor. Durch den Wirbelaufprall am Kollektor werden akustische Wellen erzeugt, die sich entgegen der Strömungsrichtung vom Kollektor zur Ausblasdüse ausbreiten und an der Ausblasdüse die Ablösung von Wirbeln steuern. Die Wirbel werden in der Strömungsscherschicht zum Kollektor transportiert und erzeugen dort wiederum Schallwellen, so daß der Rückkopplungskreis geschlossen ist. Die Rückkopplungsfrequenz ist von der Zeitdauer abhängig, welche die Schallwelle für den Weg vom Kollektor zur Ausblasdüse benötigt.

b) Akustische Resonanzen des Luftvolumens im Strömungskanal. Für die Windkanäle Göttinger Bauart spielen nur die Röhrenresonanzen des Luftrückführungskanals eine nennenswerte Rolle. Die Rückführungsröhre, nachfolgend als Strömungsrückführungsröhre bezeichnet, wirkt als Orgelpfeife, so daß sich eine stehende Welle entlang der Rückführungsröhre ausbildet. Ausblasdüse und Kollektor wirken dabei als offene Enden, an denen der Schalldruck ein Minimum und die Teilchenschwelle ein Maximum aufweist. Dadurch wird der Strömung an der Ausblasdüse eine Wechselgeschwindigkeit aufgeprägt, die eine Wirbelablösung im Takt der Röhrenresonanzfrequenz auslöst. Röhrenresonanzen des Luftrückführungskanals entstehen bei denjenigen Frequenzen, bei welchen entlang der Rückführungsröhre näherungsweise ganzzahlige Vielfache

[0007] Die DE 42 24 488 A1 betrifft einen Windkanal mit Freistrahl-Meßstrecke und Strömungsrückführungsröhre.

5 Bei dieser Rückführungsröhre werden durch entsprechende Gestaltung des Kollektors die beim Aufprall der Wirbel entstehenden akustischen Wellen vermindert. Hierdurch kann in der Regel die Kopplung zwischen Düse und Kollektor vollständig unterdrückt werden, während die durch Röhrenresonanzen bedingten Pulsationen jedoch nicht in ausreichendem Maße vermindert werden können.

[0008] Die DE 197 02 390 beschreibt einen Windkanal, bei dem zur aktiven Bedämpfung der Röhrenresonanzen die Einleitung gegenphasiger Luftschwingungen durch Lautsprecher erfolgt. Diese Maßnahme erfordert einen hohen technischen und finanziellen Aufwand.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Windkanal, insbesondere für aero-akustische Messungen, mit geschlossener Luftführung und Freistrahl-Meßstrecke 20 zu schaffen, bei dem die Bedämpfung der durch stehende Wellen in der Strömungsrückführungsröhre erzeugten Windkanalpulsationen ohne hohen technischen Aufwand folgt.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im 25 Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

[0011] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0012] Die Erfindung schafft einen Windkanal, bei dem ohne zusätzliche Störgeräusche und ausschließlich durch an geeigneter Stelle vorgesehene Öffnungen die durch stehende Wellen in der Strömungsrückführungsröhre erzeugten Windkanalpulsationen bedämpft werden. Die Öffnungen sind in der Wand der Strömungsrückführungsröhre vorgesehen.

35 [0013] Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen zur Erläuterung weiterer Merkmale beschrieben. Es zeigt:

[0014] Fig. 1 eine schematische Wiedergabe des erfindungsgemäßen Windkanals,

40 [0015] Fig. 2 eine schematische Wiedergabe einer stehenden Welle in der Strömungsrückführungsröhre,

[0016] Fig. 3a bis Fig. 3f Darstellungen zur Erläuterung der unterschiedlichen Ausführungsformen von in der Strömungsrückführungsröhre auszubildenden Öffnungen,

45 [0017] Fig. 4 in einem Windkanal gemessene Schalldruckpegelspektren zur Verdeutlichung der durch eine Öffnung erzielten Bedämpfung der Pulsationen,

[0018] Fig. 5 Ergebnisse einer Computersimulation zur Verdeutlichung der durch mehrere Öffnungen erzielbaren 50 Dämpfung der Pulsationen, und

[0019] Fig. 6 eine Darstellung zur Erläuterung der Anordnung von Lochreihen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform.

[0020] Fig. 1 zeigt schematisch einen Windkanal, insbesondere für aero-akustische Messungen mit geschlossener Luftführung und mit einer Freistrahl-Meßstrecke 1, die zwischen einer mit 2 bezeichneten Stromrückführungsröhre angeordnet ist. An die Freistrahl-Meßstrecke 1 schließt sich ein Kollektor 3 an, der die Form eines Trichters hat und ein-

60 gangssseitig eines Diffusors 4 vorgesehen ist. Hinter dem Diffusor 4 folgt eine Umlenkecke 5, dann ein weiterer Abschnitt 6 der Strömungsrückführungsröhre, eine weitere Umlenkecke 7 und eine in dem nächsten Abschnitt 8 der Strömungsrückführungsröhre untergebrachte Ventilatoreinheit 9 als Gebläseinheit. Schließlich folgt ein Abschnitt 11 der Strömungsrückführungsröhre 2, eine Umlenkecke 12, ein weiterer Abschnitt 13 der Strömungsrückführungsröhre 2 und schließlich eine Umlenkecke 14, an welche sich ein

weiterer Abschnitt 15 der Rückführungsrohre 2 anschließt. Der Abschnitt 15 enthält einen Gleichrichter 16 und ein Gitter bzw. Turbulenznetz 17. Ausgangsseitig des Abschnitts 15 befindet sich eine Auslaßdüse 18, welche die erzeugte Luftströmung auf die Meßstrecke 1 richtet.

[0021] Der vorstehend beschriebene Aufbau entspricht im wesentlichen dem eines z. B. aus der DE 197 02 390 bekannten Windkanals, jedoch mit der Maßgabe, daß die in der DE 197 02 390 vorgesehenen Lautsprechereinheiten und Mikrophone erfindungsgemäß entfallen.

[0022] Bei dem beschriebenen Windkanal können die Umlenkecken 5, 7, 12 und/oder 14 Kulissenschalldämpfer enthalten: Hinter dem Ventilator 9 kann ein Schalldämpfer 19 angeordnet sein.

[0023] Erfindungsgemäß sind in der Strömungsrückführungsrohre zur Bedämpfung der durch stehende Wellen erzeugten Windkanalpulsationen Öffnungen 20, 21, 22, 24, 25, 26 vorgesehen. Diese Öffnungen sind in der nicht weiter bezeichneten Wand der Strömungsrückführungsrohre 2 an geeigneter Stelle angeordnet und können verschiedene Ausgestaltungen aufweisen. Gemäß Fig. 1 sind die Öffnungen 20, 21, 22, 24, 25, 26 vor der Ausblasdüse 18 bzw. im Diffusor 4 ausgebildet und liegen entlang einer Achse.

[0024] Zusätzlich oder bei einer abgewandelten Ausgestaltung ist zumindest eine größere Öffnung 28 z. B. im Abschnitt 11 oder an anderer Stelle der Strömungsrückführungsrohre 2 vorgesehen.

[0025] Fig. 2 zeigt eine schematische Wiedergabe einer stehenden Welle entlang der Strömungsrückführungsrohre, bei der gerade sechs halbe Wellenlängen entlang der Achse der Strömungsrückführungsrohre Platz finden. Die Düse 3 und die Kollektoreintrittsebene 18 stellen offene Enden der Röhre dar, an denen sich Minima des Schalldruckpegels ausbilden. Weitere Minima entstehen im Abstand von jeweils einer halben Wellenlänge. Die Lage der Schalldruckpegelmaxima ist von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Positionen der Öffnungen. Die Zusammenhänge werden weiter unten genauer erläutert.

[0026] Fig. 3 zeigt verschiedene Varianten von Öffnungen, wie sie in der Wand der Rückführungsrohre 2 enthalten sein können. Gemäß Fig. 3a werden die Öffnungen bzw. Löcher 46 in die Wand der Strömungsrückführungsrohre 2 geschnitten. Gemäß Fig. 3b können derart hergestellte Öffnungen oder Löcher mit einer elastischen Folie 40 abgedeckt sein, welche die Öffnung einerseits statisch abdichtet, andererseits für die tieffrequenten Druckpulsationen akustisch transparent ist.

[0027] Gemäß Fig. 3c kann jede Öffnung mit einem Kragen 41 versehen sein, der von der Wand der Strömungsrückführungsrohre 2 nach außen weist, während gemäß Fig. 3d der Kragen zur Aufnahme einer elastischen Folie 40 dienen kann, welche die Öffnung analog zu Fig. 3b abdeckt.

[0028] Gemäß Fig. 3e ist der Kragen 41 an seinem äußeren Ende mit einer massiven Platte 43 verschlossen, während gemäß Fig. 3f die Öffnung durch eine Lochplatte bzw. ein Lochblech 45 abgedeckt sein kann. Die Öffnungen gemäß Fig. 3e und 3f sind bei einer bevorzugten Ausführungsform mit einer elastischen Folie 40 abgedeckt.

[0029] Die Fläche der Öffnungen kann von verschiedener geometrischer Gestalt sein, z. B. rund, oval, quadratisch, rechteckig oder schlitzförmig. Es können mehrere Öffnungen in verschiedenen Kombinationen vorgesehen werden, z. B. in Form einer Reihe von eng benachbarten, relativ kleinen Öffnungen, in Form von einzelnen, relativ großen Öffnungen oder als Kombination dieser Formen.

[0030] Die verschiedenen Öffnungen haben abhängig von ihrer Gestaltung und ihrer Positionierung innerhalb der Rückführungsrohre 2 unterschiedliche physikalische Wir-

kung:

1. Durch relativ große Öffnungen wird ähnlich wie bei einer Flöte die Resonanzfrequenz der Stromrückführungsrohre zu höheren Frequenzen hin verschoben. Liegt die verschobene Resonanzfrequenz genügend weit oberhalb der bevorzugten natürlichen Anregungsfrequenz f der Strömungsinstabilitäten, wird der Resonanzmechanismus unterbrochen, und die Pulsationen verschwinden.

Die relativ großen Öffnungen entfalten immer dann die größte Wirksamkeit, wenn sie am Ort eines Schalldruckpegelmaximums angeordnet sind (siehe dazu auch Fig. 2). Fig. 4 zeigt in einem Windkanal gemessene Schalldruckpegelspektren im Normalzustand des Kanals (durchgezogene Linie) und mit einer relativ großen Öffnung in der Strömungsrückführungsrohre 2 in der Nähe des Ventilators 9 (gestrichelte Linie). Die Frequenz der Pulsationen beträgt 3,5 Hz. Im Normalzustand des Kanals beträgt der Schalldruckpegel der Pulsationen 121 dB, durch die Öffnung wird der Pegel um 23 dB auf 98 dB reduziert.

2. Werden die Öffnungen in Form einer Reihe mehrerer, relativ kleiner runder oder quadratischer Öffnungen oder durch eine schlitzförmige Öffnung gebildet, hat dies zum Ergebnis, daß die Schallausbreitung entlang der Rückführungsrohre bedämpft wird. Dies führt zu einer Bedämpfung der stehenden Welle in der Röhre, wodurch die Rückkopplung vermindert wird und die Pulsation reduziert wird. Hierzu wird auf Fig. 5 verwiesen.

Fig. 5 zeigt die Ergebnisse einer Computersimulation. Die mit 51 bezeichnete Kurve entspricht dem Spektrum des Wechseldrucks in der Meßstrecke an einem vorgegebenen Meßpunkt für den Fall, daß keine Öffnungen in der Rückführungsrohre 2 vorhanden sind, während mit 52 das Spektrum bezeichnet ist am gleichen Meßpunkt bei Einbringung von Öffnungen vor und nach der Meßstrecke 1. Das Diagramm nach Fig. 5 zeigt, daß sich die Resonanzfrequenzen der Rückführungsrohre durch das Anbringen der Öffnungen geringfügig verschieben (z. B. von 2,0 Hz auf 2,4 Hz bei der ersten Resonanz und von 3,4 Hz auf 4,1 Hz bei der zweiten Resonanz) und daß sich gleichzeitig die Spitzenwerte des Schalldruckpegels bei den Resonanzfrequenzen verringern (z. B. um 19 dB bei der ersten Resonanz und um 15 dB bei der zweiten Resonanz).

[0031] Soweit erfindungsgemäß relativ große Öffnungen vorgesehen werden, ist als Grundlage für die Bestimmung der axialen Position die Frequenz f der zu beseitigenden Pulsation zu messen. Aus der Frequenz f und der Länge L der Rückführungsrohre 2 ergibt sich näherungsweise die Anzahl der halben Wellenlängen entlang der Rückführungsrohre nach der Gleichung $n = 2f_2L/c$, wobei $c = 340$ m/s die Schallgeschwindigkeit darstellt. Die Länge L wird gemessen entlang der Kanalachse, beginnend mit der Eintrittsebene am Kollektor 3 über die Ventilatoreinheit 9 bis zur Austrittsöffnung der Ausblasdüse 18. Damit läßt sich die Gestalt der stehenden Welle in der Strömungsrückführungsrohre bestimmen, insbesondere die axiale Position der Druckmaxima und der Druckminima. Insoweit wird auf Fig. 2 verwiesen. Die Öffnungen werden erfindungsgemäß in einer Querschnittsebene angebracht, in welcher der Schalldruckpegel der stehenden Welle ein Maximum besitzt. Eine geeignete Position für die Öffnungen ist in der Regel die Stelle, die einen Abstand von ungefähr 1/4 Wellenlänge zur Eintrittsebene des Kollektors 3 oder zur Austrittsebene der

Ausblasdüse 18 einhält. Die azimutale Position der Öffnungen, d. h. die Lage auf dem Umfang der Strömungsrückführungsrohre ist hingegen nicht von Bedeutung. Die optimale Gesamtflächengröße der Öffnungen lässt sich experimentell ermitteln. Als Anhaltswert kann von etwa 1-2% der Querschnittsfläche der Strömungsrückführungsrohre an dem Ort ausgegangen werden, an welchem die Öffnungen vorgesehen werden.

[0032] Werden, wie oben dargelegt, anstelle weniger und relativ großer Öffnungen Reihen oder eine Reihe mehrerer, relativ kleiner Öffnungen vorgesehen oder schlitzförmige Öffnungen, dann befindet sich die optimale axiale Position der Öffnungen unmittelbar hinter dem Kollektor 6 oder vor der Düse 5, wie dies in Fig. 1 durch die Öffnungen 20, 21, 22 und 24, 25, 26 veranschaulicht ist. Diese Öffnungen werden vorzugsweise in Form einer axialen Reihe mehrerer relativ kleiner Löcher ausgebildet, wobei die Länge der Lochreihe das 1-2fache des Durchmessers der Strömungsrückführungsrohre 2 an der Stelle der Öffnungen beträgt. Die Form der einzelnen Öffnungen kann rund oder rechteckig sein. Die azimutale Position der Lochreihen bzw. Öffnungsreihen ist hierbei unkritisch. Fig. 6 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel mit zwei parallel verlaufenden Lochreihen, wie sie im Diffusor 4 bzw. vor der Ablaufdüse 18 vorgesehen sein können. Ein Teil der zueinander parallelen Öffnungen ist in Fig. 6 mit 24, 25, 26 bzw. 24', 25', 26' bezeichnet. So mit sind diese Öffnungen in zwei Felder aufgeteilt.

Patentansprüche

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Folie (40) abgedeckt sind.

8. Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) jeweils mit einem aufgesetzten Kragen (41) versehen sind.

9. Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) mit einem aufgesetzten Kragen (41) versehen sind und daß der Kragen (41) durch eine massive Platte (43) oder ein Lochblech (45) verschlossen ist.

10. Windkanal nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) mit einer elastischen Folie (40) versehen sind.

11. Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) am Ort eines Druckmaximums der stehenden Welle entlang der Rückführungsrohre (2) angeordnet sind.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Windkanal, insbesondere für aero-akustische Messungen, mit einer Freistrahlg-Meßstrecke (1) und einer Strömungsrückführungsrohre (2), bei dem vor der Freistrahlg-Meßstrecke (1) eine Ausblasdüse (18) und hinter der Freistrahlg-Meßstrecke (1) ein Diffusor (4) vorgesehen ist, mit einer in der Strömungsrückführungsrohre (2) angeordneten Ventilatoreinheit (9) zur Erzeugung eines Luftstroms, dadurch gekennzeichnet, daß in der Wand der Strömungsrückführungsrohre (2) Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 24', 25', 26', 28) ausgebildet sind.
- Windkanal nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22) stromauf zur Ausblasdüse (18) vorgesehen sind.
- Windkanal nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (24, 25, 26; 24', 25', 26') im Diffusor (4) angeordnet sind.
- Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) am Ort eines Druckmaximums angeordnet sind, z. B. in einem Abstand von etwa 1/4 der Wellenlänge vor der Austrittsebene der Ausblasdüse (18) und/oder hinter der Eintrittsebene des Kollektors (3) vorgesehen sind.
- Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) in einer axialen Reihe in der Wand der Strömungsrückführungsrohre (2) vorgesehen sind.
- Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtflächengröße der Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) etwa 1-2% der Querschnittsfläche desjenigen Abschnitts der Strömungsrückführungsrohre (2) entspricht, an welcher die Öffnungen vorgesehen sind.
- Windkanal nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (20, 21, 22, 24, 25, 26, 28) mit einer elastischen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

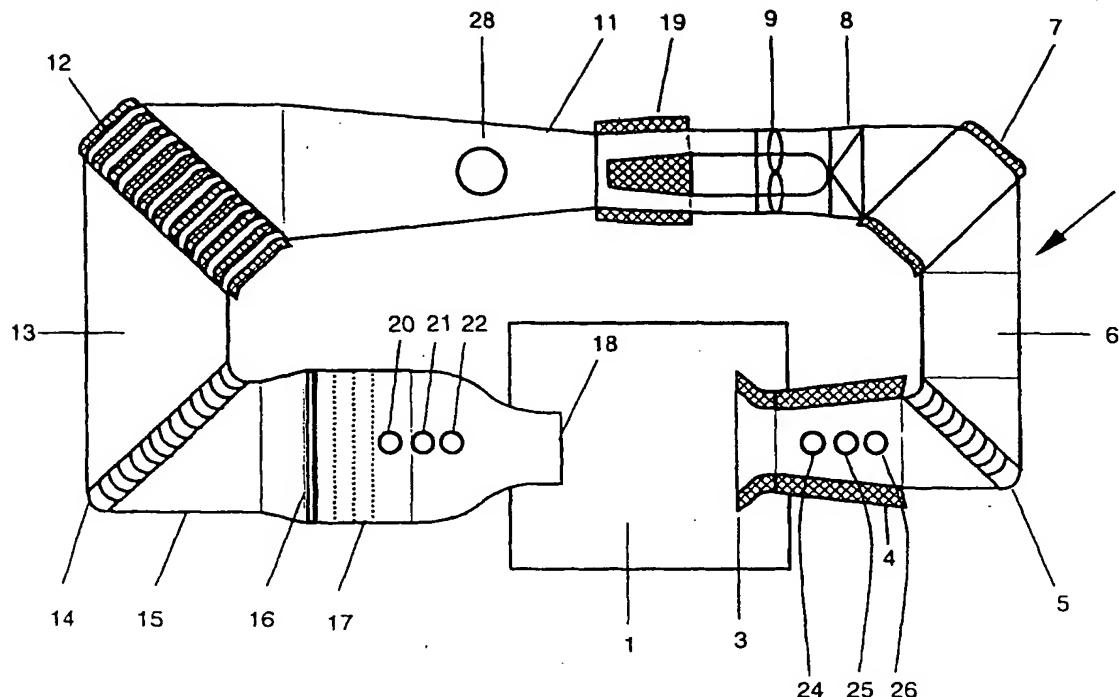


Fig. 1

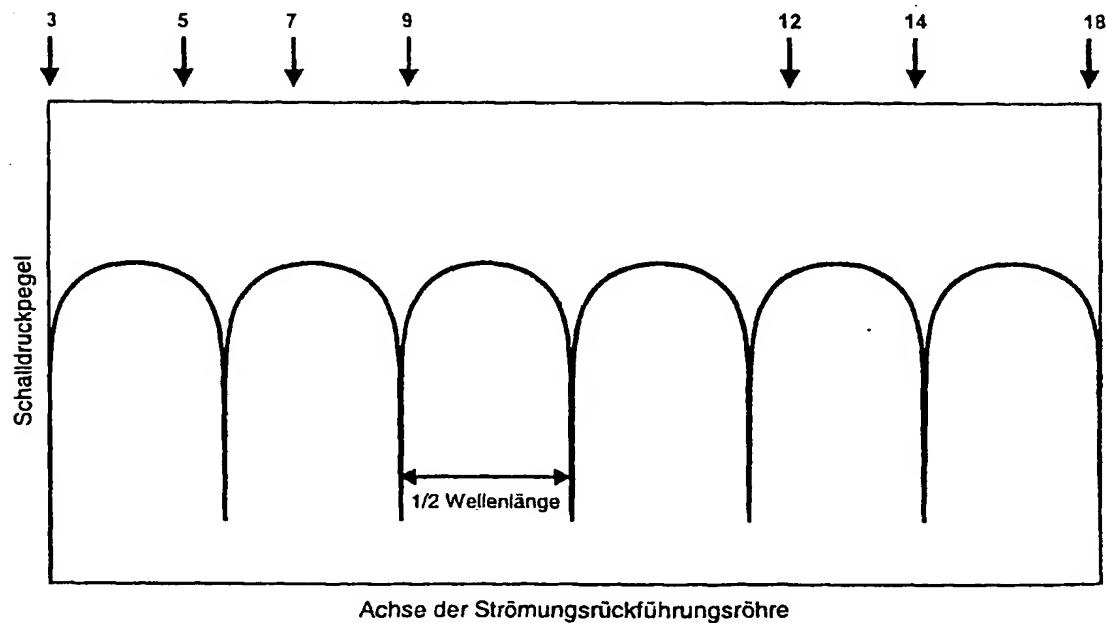


Fig. 2

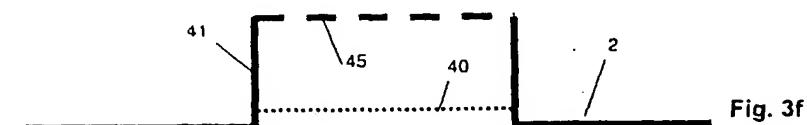
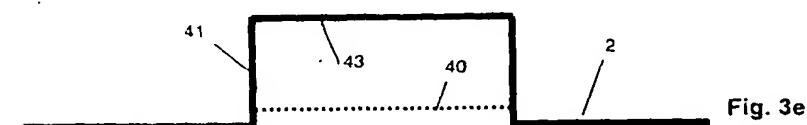
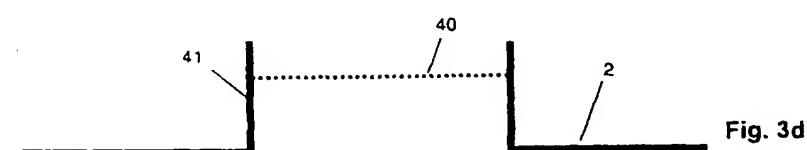
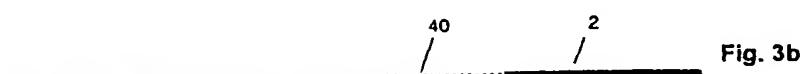
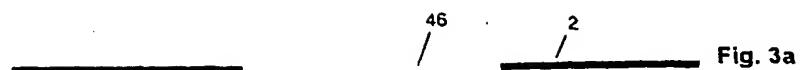


Fig. 3

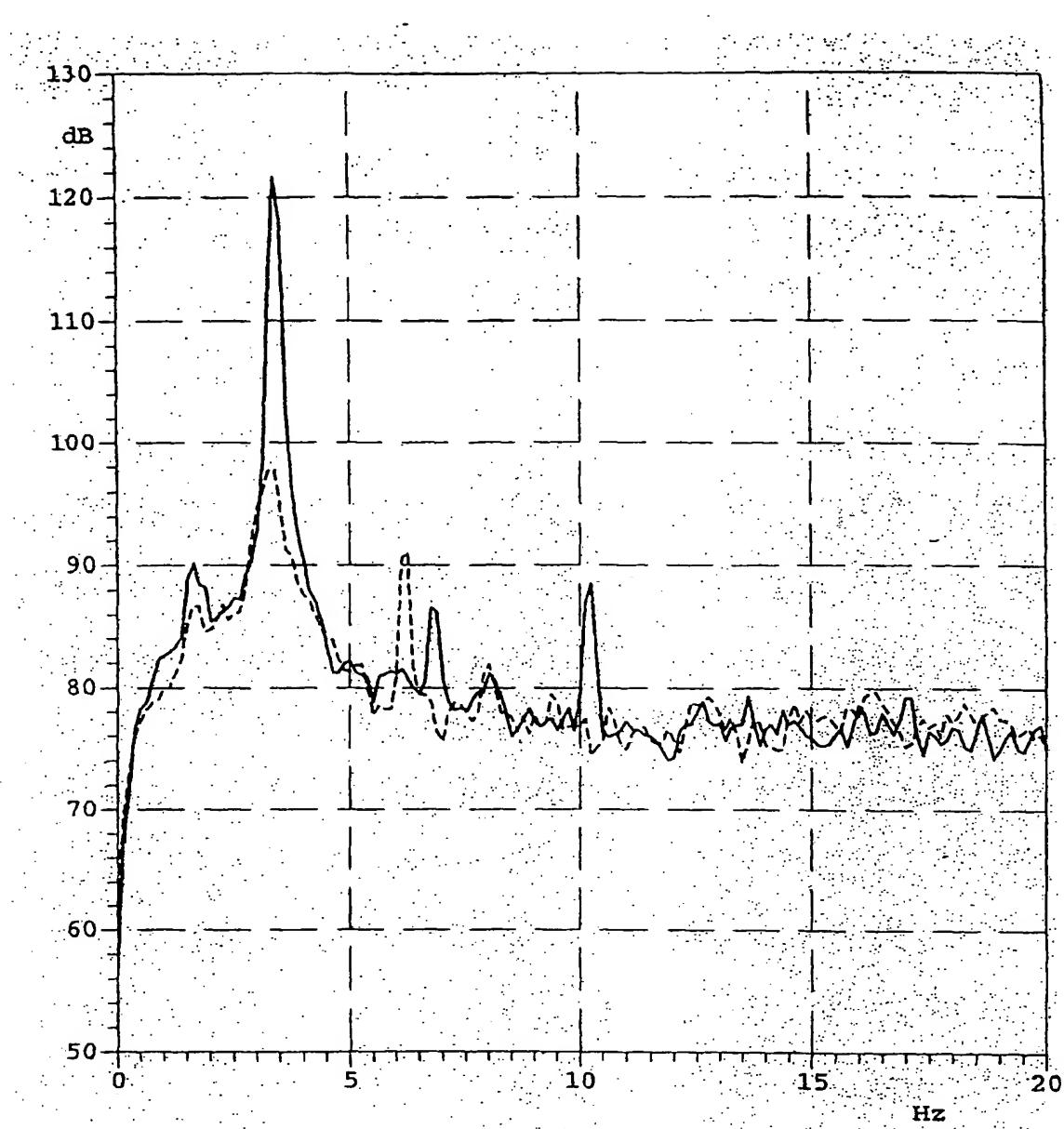


Fig. 4

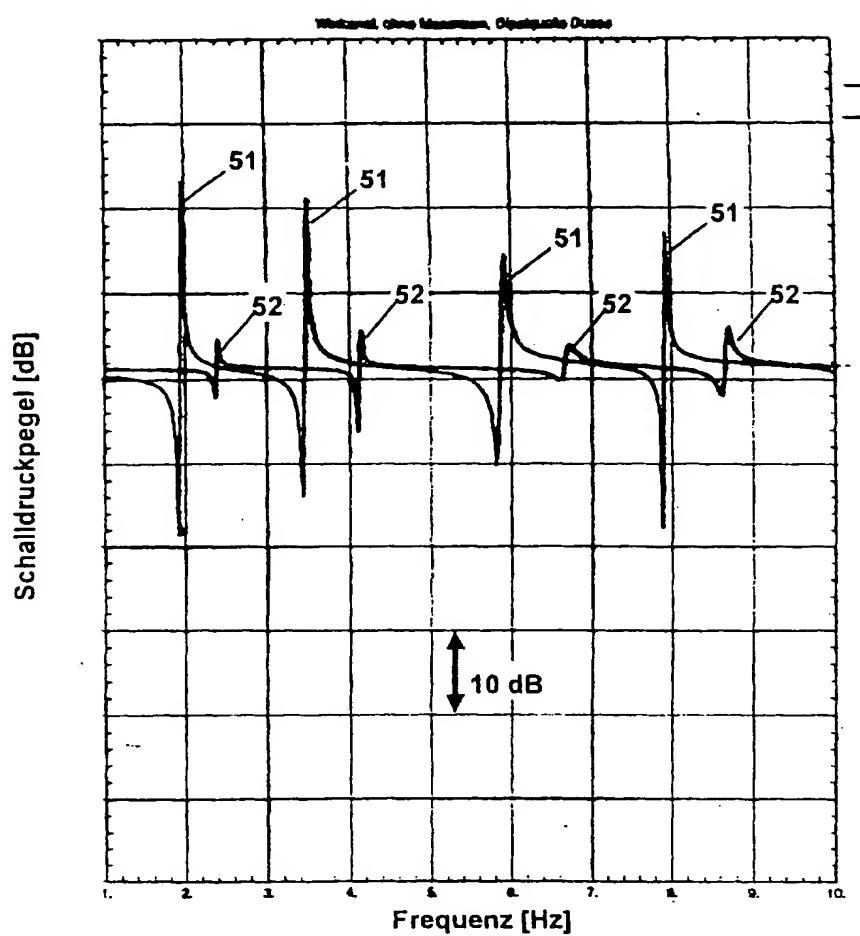


Fig. 5

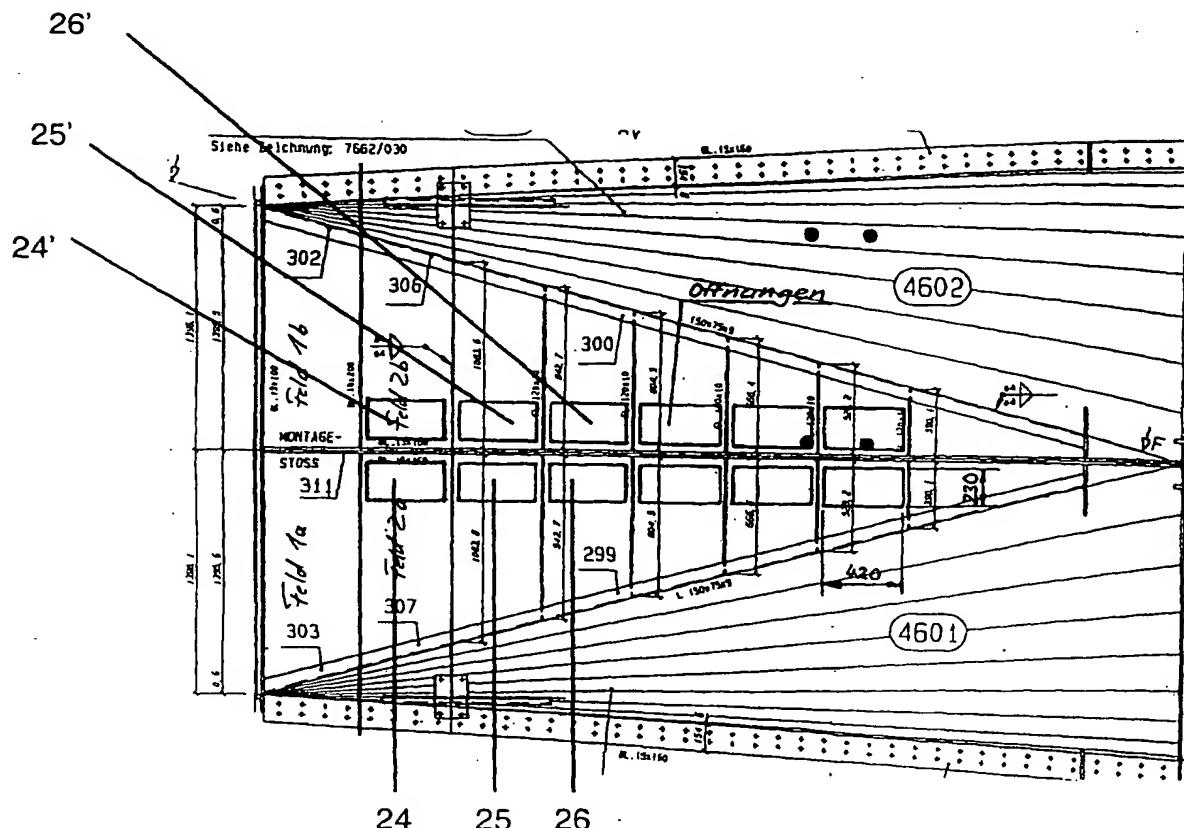


Fig. 6